

補助工法を活用した小礫対応の透過型堰堤の検討

セントラルコンサルタント株式会社 ○林 見比古

論文要旨

鋼製スリットの適用礫径が0.3m以上であることから、最大礫径が0.3m未満の流域では、一般的に鋼製スリットを用いない工法として不透過型堰堤による土石流対策が行われる。ただし、不透過型堰堤下流での流木被害の実績を受け、土砂・流木整備率を100%とする場合には、下流への流木の流出防止のため透過構造を有する施設が必要とされている。不透過型堰堤の場合は、本堤に透過部を持たないことから別途流木捕捉工を設ける必要があり、従来は本堤上部に流木捕捉工を設けることが多かったが、この場合には堤高が高くなり、経済性、施工性の面で劣ることから近年では避けられる傾向にある。

本研究では、最大礫径0.24mの土石流危険渓流を対象に、補助工法を活用した透過型堰堤について検討を行い、鋼製スリットの適用礫径の拡大について研究した。研究結果から、鋼製スリットも補助工法を併用することで、適用礫径を0.2mまで拡大することができることを示した。

キーワード：透過型堰堤、小礫対応、流木捕捉、補助工法

まえがき

近年、豪雨等の影響により日本全国で土石流、地すべり、がけ崩れといった土砂災害が発生しており、様々な被害が生じている。このような土砂災害の危険性が高い箇所では、砂防施設の整備により対策が講じられている。

土石流対策施設として、これまでは全体をコンクリートで構成し、極力砂が下流へ流出しない不透過型と呼ばれる構造形式が多く採用されてきた。しかし、土砂を堰止めることから下流への常時の適切な土砂供給という観点から課題もあり、流砂の分断による河床変動や粒径変化、水棲生物や環境に及ぼす影響などが指摘されてきた¹⁾。

また、不透過型堰堤下流での流木被害の実績を受け、砂防基本計画策定指針²⁾が改訂され、不透過型堰堤の流木捕捉の考え方が変更された。これにより、土砂および流木整備率を100%とする場合には、下流への流木の流出防止のため、透過構造の必要性が示された。

1. 流域特性

本研究の対象とした流域を図-1に示す。当該流域は、流域面積0.02km²、最大礫径0.24mの土石流危険渓流となっているため、土石流災害防止を目的とした対策施設の整備が必要な渓流である。谷出口より下流側には、写真-1に示すように集落が広がっており、保全対象として人家64戸、公共施設1戸、国道280m、都道府県道650m等があり、土石流時の被災リスクが大きい。

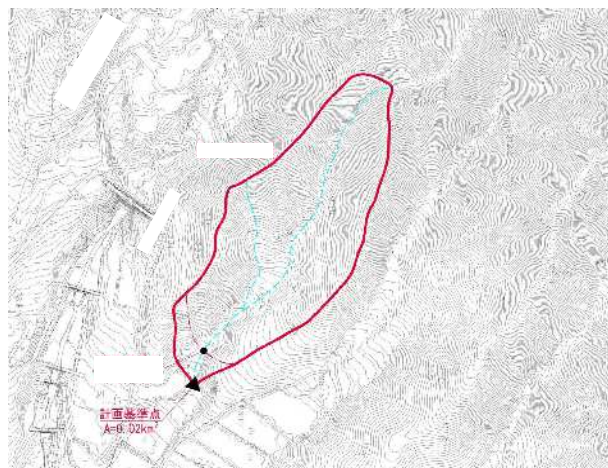


図-1 流域図



写真-1 谷出口下流の状況

2. 鋼製砂防構造物の歴史

昭和40年代初めより、鋼管、H形鋼、ワイヤ等の鋼材を用いた砂防構造物が開発され、各地で導入されてきた。昭和50年代には土石流対策としても使用されるようになり、実績の増加とともに新工法の開発や既存工法の改良がされている。鋼製砂防構造物の代表として鋼製スリットがあげられるが、令和4年に既存工法の改良版が開発されるなど、使用開始から50年以上経過した現在でも日々研究は進んでいる。

3. 透過型堰堤の特徴

透過型堰堤は、常時には開口部から土砂を適切に下流に供給し、土石流時は巨礫によって水通し部に設置した鋼製スリットが閉塞することにより、不透過型砂防堰堤と同等の土石流捕捉機能が確保されるものである。この鋼製スリットは、鋼管を組み合わせた骨組構造によるものが多く、骨組間隔によって土砂供給と土石流捕捉という互いに反する性能を得るため、その骨組間隔の決定法に関してはいくつかの研究が進められた。芦田ら³⁾は、実験により格子間隔を最大粒径 D_{95} の1.5~2.0倍程度に設定することにより、アーチアクション効果により土石流を捕捉できることを示した。

平成13年版の鋼製砂防構造物設計便覧⁴⁾では、鋼管の間隔が最大礫径 (D_{95}) の1.5倍程度保有することが推奨された。さらに、平成21年に改訂された鋼製砂防構造物設計便覧⁴⁾には、下流域の土砂災害に対する安全性を向上させるため、鋼管間隔を D_{95} の1.0倍程度として巨礫捕捉の確実性を向上させた。令和3年に改訂された新編・鋼製砂防構造物設計便覧⁵⁾では、土石流堆積区間など、土石流フロント部が形成されにくいと推定される場合の鋼管間隔を最大礫径 (D_{95}) の1.0倍程度とし、土石流捕捉の確実性をより向上させている。

砂防堰堤の形式として、透過型堰堤のほかにも不透過型堰堤、部分透過型堰堤があるが、不透過型堰堤における流木捕捉の考え方が変わったことや、下流への土砂供給の必要性、透過型堰堤の施工実績・土石流捕捉実績の増加、経済性、施工性、維持管理性等での優位性から、近年では透過型堰堤での土石流対策が基本となっている。

(1) 土石流捕捉機能

透過型堰堤は、土石流時にフロント部に含まれる礫により開口部に設置する鋼製スリットを閉塞させ、砂防堰堤の上流側のポケットに土砂を堆積させることで、土石流を捕捉する(図-2)。他の堰堤形式と異なり、ポケット部に土砂の堆積がないことから、同じ堤高の場合の施設効果量が大きく、効率的に土石流を捕捉できる。

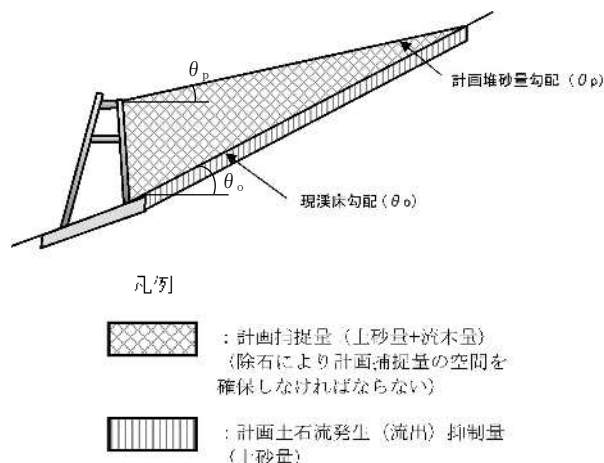


図-2 透過型堰堤の土石流捕捉⁶⁾

(2) 透過型堰堤の実績

透過型堰堤はこれまで全国的に整備されており、表-1に示すように、全国的な施工実績として約2,800件近くになり、このうち土石流を捕捉した実績として約170件ある。

土石流対策施設として適用可能な鋼製スリットは、設計時点で5工法あり、現場の条件に応じて選定される。

表-1 透過型堰堤の実績

鋼製スリット	施工実績	土石流捕捉実績
スリット①	約780件	約80件
スリット②	約1,200件	約60件
スリット③	約140件	約5件
スリット④	約600件	約20件
スリット⑤	約120件	約5件
合計	約2,840件	約170件

(3) 透過型堰堤の適用範囲

新編・鋼製砂防構造物設計便覧⁵⁾では鋼製スリットの適用礫径を0.2m以上としているが、これは礫のアーチアクションによりスリットの閉塞効果を期待している礫径である。

現行基準では、最下流施設における鋼製スリットの縦部材・横部材の純間隔は、最大礫径の1.0倍とされている。

鋼製スリットの製造上の限界値が部材間隔が0.3mのため、一般に透過型堰堤の適用範囲は、最大礫径 (D_{95}) 0.3m以上である。

(4) 経済性、施工性

透過型堰堤は、不透過型堰堤、部分透過型堰堤と異なり、水通し部からの土砂、流水の落下がなく下流側の洗堀が生じにくいことから、前庭保護工が不要である。また、常時の流出土砂を通過させるため、上流部のポケット部を施設効果量として確保で

きる。このため、不透過型堰堤と比較して堤高が低くなり、施設規模が小さくなることから、経済性に安価となりやすく、施工性にも優れる構造となる。

(5) 維持管理性

透過型堰堤の場合には、平常時や中小出水時の土砂については鋼製スリットの開口部から流下するため、堰堤上部への土砂の堆積が生じない。このため、定期的な除石による維持管理が不要であり、維持管理性に優れた構造である。

(6) 環境への影響

不透過型堰堤として整備した場合には、水通し部をコンクリートと土砂を堰止めることから、下流への常時の適切な土砂供給という観点から課題もあり、流砂の分断による河床変動や粒径変化、水棲生物や環境に及ぼす影響などが指摘されてきた。これに対して、透過型堰堤とすることで溪床の連続性を維持でき、平常時や中小出水時の流出土砂についてはスリット間から流下するため、定期的な土砂供給が持続される。

4. 対象流域における透過型堰堤の適用性

透過型堰堤は、前述の通り鋼製スリットの部材間に礫を閉塞させて土石流を捕捉する施設である。このため、流域内の礫が小さい場合には、スリットが閉塞せず、土石流を捕捉できない懸念がある。

対象流域の最大礫径は0.24mであり、新編・鋼製砂防構造物設計便覧の適用礫径は満足している。しかし、設計時点で最大礫径0.3m未達の流域で鋼製スリットを使用した実績はなく、当該流域においては土石流捕捉の確実性に懸念が生じる。当該堰堤は流域の最下流施設であり、保全対象も多数存在することから土石流捕捉の確実性に特に配慮が必要であり、標準的な透過型堰堤は適用性が低いと考えられる。

5. 補助工法の併用による透過型堰堤の適用性検討

前述の通り、当該箇所において透過型堰堤を適用することは、優位性が高いが、標準的な透過型堰堤は適用できない。そこで、補助工法の併用による透過型堰堤の適用性について検討を行った。

(1) 従来工法の検討

新設堰堤に適用可能な小礫対応の補助工法として、リング状ネットを用いた工法が開発されているが、当該工法は適用可能な鋼製スリット製品に限られている。この他にも補助工法が開発されているが、これらの工法は新設堰堤に適用せず、既設堰堤の改築に適用する工法となる。

(2) 新工法(ワイヤロープ⁴⁾)の検討

前述した従来工法に対し、新工法として開発されたワイヤロープについて検討を行った。

a) 新工法の概要

当該工法は、両岸の非越流部に水平方向にワイヤロープを定着させ、鉛直方向に間隔保持機能を設置する構造となっており、**図-3**、**写真-2**に示すように、水平方向、鉛直方向のロープを格子状に設置し、小礫でも閉塞可能な部材間隔とする。

また、新設堰堤、既設堰堤のいずれの施設にも適用可能であり、0.2mの礫にも対応できることから、当該堰堤にも適用可能である。中小出水時や、部材の劣化により破損した場合にも部材の交換が容易であることから維持管理性も高い。

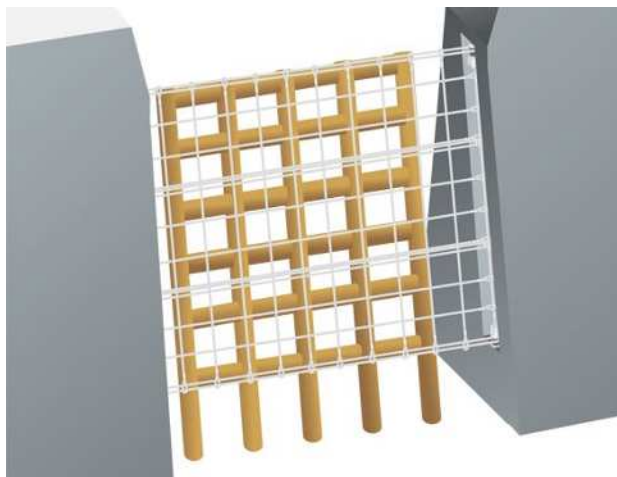


図-3 ワイヤロープ 概略図⁷⁾



写真-2 ワイヤロープ設置状況⁷⁾

b) 新工法による土石流捕捉方法

ワイヤロープの設置に際しては、**図-4**に示すように鋼製スリットの上流側とし、土石流時にはワイヤロープの部材間を礫で

閉塞させることで、鋼製スリットでの土石流捕捉を補助する。これにより、小礫の溪流においても透過型堰堤を適用でき、効果的な砂防施設を配置することができる。

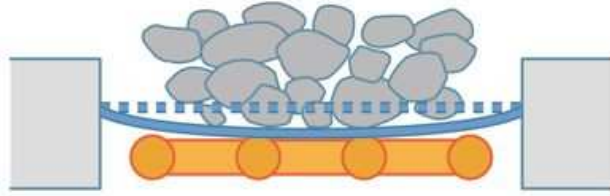


図-4 補助工法を用いた土石流捕捉イメージ⁷⁾

c) 新工法における土石流捕捉実績

設計時点での施工実績は2件と少ないものの、うち1件では土石流を捕捉している(写真-3, 写真-4)。当該箇所では土石流流体力に対しても安定性を確保できることから、土石流捕捉の確実性が高いといえる。



写真-3 土石流捕捉実績⁷⁾



写真-4 土石流捕捉実績⁷⁾

(3) 補助工法の併用による透過型堰堤の適用性

当該箇所では、補助工法を併用することで土石流捕捉が可能となり、透過型堰堤の適用性が高いと評価した。

ワイヤロープの設置には、非越流部へのアンカーの設置が必要となる。このため、非越流部に鋼材を接続するタイプの鋼製スリットの場合には、ワイヤロープと鋼製スリットに干渉が生じることから適用が困難である。鋼製スリットに補助工法を併用する場合には鋼製スリットの選定に留意が必要である。

6. 研究の成果

本研究では、礫径が小さい流域において、優位性の高い施設として透過型堰堤の適用可否について検討した。検討結果より、補助工法を併用することで礫径が小さい場合にも土石流捕捉の確実性が高い透過型堰堤を適用可能となり、効果的な土石流捕捉が可能な施設を計画できる。

あとがき

謝辞：本研究について、国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所のご担当者より、多くのご指摘、指導を頂きました。謝意を表します。

今後の展望：透過型堰堤は不透過型堰堤と比較して経済性、施工性等に優れることが多い。従来では、礫が小径な流域においては不透過型堰堤を採用し、別途流木捕捉工を設けていたが、本研究で示した補助工法の適用可否について検討することで、効果的な砂防施設的设计に活用可能と考えられる。

参考文献

- 1) 田端茂清, 守山浩史: 鋼製透過型えん堤工法・設計法の変遷と課題, 砂防学会誌 第62巻 第6号, 公益社団法人 砂防学会, 2010. 3, pp. 47-51
- 2) 砂防基本計画策定指針: 国土交通省国土技術政策総合研究所, 平成28年4月. 77p.
- 3) 芦田和男, 高橋保: 土石流の調節制御に関する研究 - 立体格子型砂防堰堤の水力機能 -, 京都大学防災研究所年報, 第23号 B-2, 京都大学防災研究所, 1980, pp. 433-441,
- 4) 鋼製砂防構造物設計便覧 平成21年版: 財団法人 砂防・地すべり技術センター, 平成21年9月 254p.
- 5) 新編・鋼製砂防構造物設計便覧(令和3年版): 一般財団法人 砂防地すべり技術センター, 令和3年10月 344p.
- 6) 土石流・流木対策設計技術指針 解説: 国土交通省国土技術政策総合研究所, 平成28年4月. 78p.
- 7) 透過型鋼製スリット堰堤用 中小石礫・流木捕捉部材 コレッキリスクリーン: 株式会社プロテックエンジニアリング